

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
4. Januar 2001 (04.01.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 01/01612 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **H04B 10/135**

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE00/01175**

(22) Internationales Anmeldedatum:  
14. April 2000 (14.04.2000)

(25) Einreichungssprache: **Deutsch**

(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**

(30) Angaben zur Priorität:  
199 29 673.1 28. Juni 1999 (28.06.1999) **DE**

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **SIEMENS AKTIENGESellschaft [DE/DE];**  
Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **NOE, Reinhold**  
[AT/DE]; Helmerner Weg 2, D-33100 Paderborn (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESellschaft**; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): **CN, JP, US.**

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

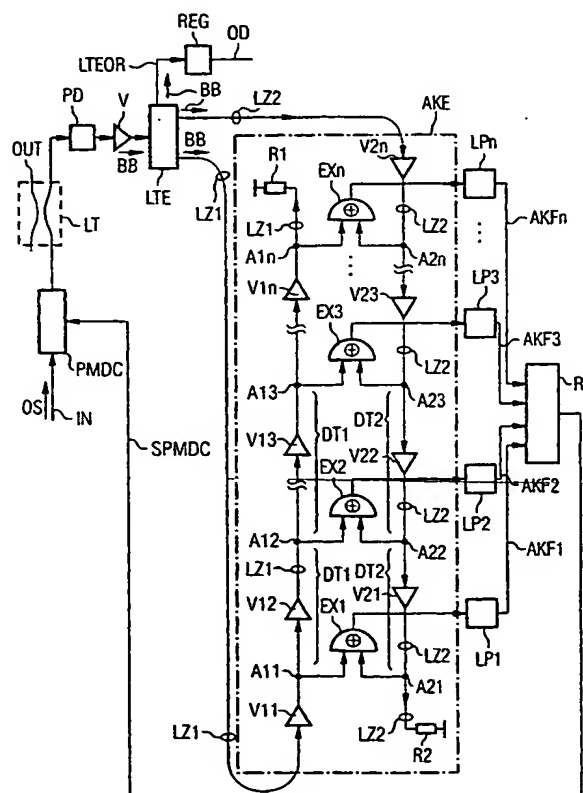
Veröffentlicht:

— Mit internationalem Recherchenbericht.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **DEVICE FOR DETECTING POLARIZATION MODE DISPERSIONS**

(54) Bezeichnung: **EINRICHTUNG ZUR DETEKTION VON POLARISATIONSMODENDISPERSION**



(57) Abstract: The invention relates to a device for detecting polarization mode dispersions of an optical data signal (OS). Said device comprises at least one EXOR gate (EX<sub>j</sub>; j = 1 ... n) and an averaging device (LP<sub>j</sub>; j = 1 ... n) for measuring at least one value (AKF<sub>j</sub>; j = 1 ... n) of the autocorrelation function of a base band signal (BB) that is distorted by a polarization mode dispersion.

(57) Zusammenfassung: Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmodendispersion eines optischen Datensignals (OS), die mindestens ein EXOR-Gatter (EX<sub>j</sub>; j = 1 ... n) samt Mittelungseinrichtung (LP<sub>j</sub>; j = 1 ... n) zur Messung mindestens eines Werts (AKF<sub>j</sub>; j = 1 ... n) der Autokorrelationsfunktion eines durch Polarisationsmodendispersion verzerrten Basisbandsignals (BB) aufweist.

WO 01/01612 A1



*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.*

## Beschreibung

## Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmodendispersion

- 5 Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmodendispersion eines optischen Datensignals gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

10 In der optischen Übertragungstechnik werden lange Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken eingesetzt. Die Lichtwellenleiter sind herstellungsbedingt nicht vollständig isotrop, sondern schwach doppelbrechend. Wegen der langen Übertragungsstrecke ergibt sich eine frequenzabhängige Polarisations-  
15 stransformation - Polarisationsmodendispersion oder Polarisationsdispersion genannt, abgekürzt PMD. Diese führt durch Änderung der Polarisation des optischen Signals als Funktion der optischen Frequenz und - verbunden damit - unterschiedlichen frequenzabhängigen Laufzeiten zur Verbreiterung gesendeter Impulse, wodurch empfangsseitig deren Erkennbarkeit reduziert und dadurch die übertragene Datenrate begrenzt wird.  
20 Als „principal states-of-polarization“, im folgenden PSP oder Hauptpolarisationen, werden diejenigen beiden zueinander orthogonalen Polarisationen genannt, die sich bei Änderung der optischen Frequenz in erster Näherung nicht ändern. In polarisationserhaltenden Lichtwellenleitern fallen die Hauptpolarisationen mit den Hauptachsen zusammen, sind also horizontal und vertikal. Im allgemeinen sind die Hauptpolarisationen aber beliebige orthogonale Paare elliptischer Polarisationen. Die Hauptpolarisationen besitzen verschiedene Gruppenlaufzeiten, deren Differenz als „differential group delay“, im folgenden DGD oder differentielle Gruppenlaufzeit, bezeichnet wird. Wird ein optisches Signal mit einer Hauptpolarisation übertragen, so findet in Näherung erster Ordnung keine Impulsverbreiterung statt. Wird es mit einer Polarisation übertragen, die bei Aufteilung nach den beiden Hauptpolarisationen dort gleichen Leistungsanteilen entspricht, kommt es zu  
35

maximaler Impulsverbreiterung, weil zwei gleich starke Impulse mit Laufzeitunterschieden der Größe DGD überlagert werden. Ändern sich die Hauptpolarisationen als Funktion der optischen Frequenz, so wird bei eingangsseitiger Verwendung einer Hauptpolarisation, die einer bestimmten Frequenz entspricht, die Ausgangspolarisation als Funktion der Frequenz aber trotzdem ändern, aber eben erst in höherer als erster Ordnung. Dies bezeichnet man als PMD höherer Ordnung. Im allgemeinen tritt PMD höherer Ordnung auf, wobei aber PMD erster Ordnung durch seine Auswirkungen dominiert und deshalb bevorzugt kompensiert werden muß.

Erschwerend kommt hinzu, daß sich durch Temperaturänderung oder mechanische Beanspruchung das Übertragungsverhalten der Strecke und somit auch die PMD ändert. Deshalb werden adaptive PMD-Kompensatoren eingesetzt, die in den Übertragungspfad eingefügt werden. Zu deren Ansteuerung müssen im optischen Empfänger PMD-Verzerrungen detektiert werden. Der Kompensator läßt sich dann beispielsweise mit einem Gradientenalgorithmus optimal einstellen.

In Electronic Letters 17. Februar 1994, Band 30, Nr. 4, Seiten 348 bis 349 wird ein Bandpaßfilter zur Filterung eines Datensignals eingesetzt, dessen PMD zu detektieren ist. Ein Leistungsdetektor am Filterausgang liefert ein Signal, das desto höher ist, je geringer die PMD-Verzerrungen sind. In Electron. Lett. 34(1998)23, Seiten 2258 bis 2259 wird eine Kombination mehrerer Bandpaßfilter mit anschließenden Leistungsdetektoren verwendet, wobei statt Einzelsignalen auch eine Linearkombination der Signale verwendet werden kann.

Durch Bandpaßfilter unterschiedlicher Mittenfrequenzen wird gleichzeitig die Detektierbarkeit auch größerer PMD-Verzerrungen möglich, welche z.B. eine Bitdauer des Signals überschreiten. Bandpaßfilter sind aber schlecht für die monolithische Integration, beispielsweise in Si oder SiGe geeignet. Unvermeidliche Gruppenlaufzeitverzerrungen in den Bandpaßfiltern führen außerdem dazu, daß keine optimale PMD-Detektion und somit Entzerrung möglich ist.

In Proceedings OEC 94, 14e-12, Seiten 258 bis 259, Makuhari Messe, Japan 1994 wird ein anderes Verfahren verwendet, bei dem die Leistung des Differenzsignals zwischen Entscheidungsausgang und Entscheidungseingang ausgewertet wird. Insbesondere bei starken PMD-Verzerrungen, in denen die DGD die Bitdauer überschreitet, kann es aber zu falschen Entscheidungen kommen, so daß das gewonnene Signal in solchen Fällen ein ungeeignetes Kriterium für das Vorliegen von PMD-Verzerrungen ist.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen zuverlässigen Detektor auch für größere Werte der differentiellen Gruppenlaufzeit anzugeben, welcher auf einfache Weise integriert werden kann und anders als Bandpaßfilter keinen intrinsischen Verzerrungen durch Gruppenlaufzeitverzerrungen unterworfen ist.

Die Aufgabe wird durch eine Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmodendispersion gemäß Anspruch 1 gelöst.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Erfindungsgemäß werden Exklusiv-Oder-Gatter (EXOR) oder Multiplizierer eingesetzt, mit deren Hilfe wesentliche Teile der Autokorrelationsfunktion des im elektrischen Teil eines optischen Empfängers vorliegenden Basisbandsignals bestimmt werden. Der besondere Vorteil der Erfindung liegt darin, daß EXOR-Gatter einfach monolithisch integriert werden können.

Mit EXOR-Gattern, welche durch Laufzeitleitungen getrennt sind, ergeben sich die Autokorrelationsfunktionswerte bei unterschiedlichen Zeitverzögerungen.

35

In einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel werden zwei in entgegengesetzter Richtung zu durchlaufende Laufzeitleitungen

eingesetzt, welche in besonders platzsparender Weise implementiert werden können und außerdem mindestens näherungsweise die Leitungsverluste ausgleichen.

- 5 Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand von Figuren beschrieben.

Es zeigen:

- 10 Figur 1 eine erfindungsgemäße Einrichtung zur PMD-Detektion, ergänzt durch PMD-Kompensator und weitere Baugruppen,  
Figur 2 eine schlechte und eine gute abgetastete Autokorrelationsfunktion,  
15 Figur 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel einer Einrichtung zur PMD-Detektion,  
Figur 4 eine Variante von Laufzeitleitungen,  
Figur 5 eine weitere Variante einer Laufzeitleitung und  
Figur 6 einen an einen Regler angeschlossenen Regenerator.

20

**Figur 1** zeigt ein System zur optischen PMD-Kompensation. Es besitzt einen optischen Eingang IN und einen optischen Ausgang OUT. Eine optische Welle OS durchläuft vom Eingang IN kommend zunächst einen einstellbaren optischen PMD-Kompensator PMDC, dann einen Leistungsteiler LT. Ein Ausgang des Leistungsteilers bildet den optischen Ausgang OUT des Systems, der andere steuert eine Photodiode PD an. Nach elektrischer Verstärkung in Verstärker V wird das Basisbandsignal BB einem elektrischen Leistungsteiler LTE zugeführt.

30

Die Ausgänge des elektrischen Leistungsteilers werden zwei angezapften Laufzeitleitungen LZ1, LZ2 zugeführt. Die Enden der Laufzeitleitungen sind mit Abschlußwiderständen R1, R2 entsprechend dem Wellenwiderstand versehen. Eine Anzapfung

- 35 A1j ( $j = 1 \dots n$ ) der Leitung LZ1 ist jeweils einem, eine Anzapfung A2j ( $j = 1 \dots n$ ) der Leitung LZ2 ist jeweils dem anderen Eingang eines EXOR-Gatters EXj ( $j = 1 \dots n$ ) zugeführt.

Statt EXOR-Gattern eignen sich auch alle beliebigen anderen Multipliziererschaltungen. Besonders als EXOR-Gatter/Multiplizierer geeignet sind Gilbert-Multiplizier. Eine geeignete Schaltung, hier mit Feldeffekttransistoren, ist beispielsweise in Electronics Letters, 15. August 1991, Band 27, No. 17, Seiten 1529 bis 1532 dargestellt, und zwar in der dortigen Fig. 3.

Die Anzapfungen sind auf einer der Leitungen (LZ1) nach steigendem, auf der anderen Leitung (LZ2) nach fallendem Index  $j$  geordnet. Dies führt dazu, daß die Laufzeitdifferenz zwischen den Signalen an den Eingängen eines EXOR-Gatters EX $j$  sich mit steigendem Index  $j$  monoton ändert. Sind die Leitungslängen zwischen allen benachbarten Anzapfungen jeweils einer Leitung gleich groß, so ergeben sich äquidistante, sich gemäß Index  $j$  monoton ändernden Laufzeitdifferenzen. An die Ausgänge der EXOR-Gatter EX $j$  sind jeweils Tiefpaßfilter LP $j$  ( $j = 1 \dots n$ ) angeschlossen. Statt Tiefpaßfiltern eignen sich auch andere zur Mittelwertbildung verwendbare Schaltungen wie z.B. Integratoren, welche über eine definierte Zeitdauer integrieren. Solche werden auch als „Integrate-and-Dump“-Schaltungen bezeichnet. Die Ausgangssignale der Tiefpaßfilter geben die bei verschiedenen Laufzeitdifferenzen gemessenen Werte der Autokorrelationsfunktion des elektrischen Signals BB an.

Um die Verluste an den Anzapfungen A1 $j$ , A2 $j$  auszugleichen, Mehrfachreflexionen auf den Laufzeitleitungen LZ1, LZ2 zu unterdrücken und eine größere Signallaufzeit bei gegebenen Ausmaßen zu erzielen, können in die Laufzeitleitungen LZ1, LZ2 Pufferverstärker V1 $j$ , V2 $j$  ( $j = 1 \dots n$ ) eingefügt werden. Sie sind jedoch nicht unbedingt erforderlich.

Da symmetrische Schaltungstechnik mit differentiellen Eingängen und Gegentakt-Ausgängen zahlreiche Vorteile bietet, ist es günstig, diese auch hier anzuwenden. Beispielsweise können Verstärker V, Leistungsteiler LTE, Laufzeitleitungen LZ1, LZ2, Pufferverstärker V1 $k$ , V2 $k$ , Anzapfungen A1 $j$ , A2 $j$ , Ab-

schlußwiderstände  $R_1$ ,  $R_2$ , EXOR-Gatter  $EX_j$  und Tiefpaßfilter  $LP_j$  symmetrisch ausgelegt sein. Wie dies für z.B. ein EXOR-Gatter erfolgt, ist in der letztgenannten Literaturstelle beschrieben.

5

EXOR-Gatter  $EX_j$  und zumindest Teile der Laufzeitleitungen  $LZ_1$ ,  $LZ_2$  einschließlich Anzapfungen  $A_{1j}$ ,  $A_{2j}$  und Abschlußwiderständen  $R_1$ ,  $R_2$  sowie, falls vorhanden, Pufferverstärker  $V_{1k}$ ,  $V_{2k}$  bilden eine Autokorrelationseinheit AKE. Diese kann  
10 beispielsweise auch den Rest der Laufzeitleitungen  $LZ_1$ ,  $LZ_2$ , den elektrischen Leistungsteiler LTE und den Verstärker  $V$  umfassen. Eine Autokorrelationseinheit AKE1 läßt sich platzsparend auf einem Halbleiterchip monolithisch integrieren, z.B. in SiGe, GaAs, oder InP.

15

Durch die Anzapfungen entstehen in der Praxis Verluste auf den Laufzeitleitungen  $LZ_1$ ,  $LZ_2$ . Da die Eingangssignale aller EXOR-Gatter aber in Summe gleich viele Anzapfungen durchlaufen, d.h. bei Addition der durchlaufenen Anzapfungen auf Leitung  $LZ_1$  und der durchlaufenen Anzapfungen auf  $LZ_2$ , und bei  
20 geeigneter Auslegung auch in Summe gleich lange Leitungsstücke durchlaufen, ist das Produkt der Dämpfungsfaktoren, die diese Eingangssignale erfahren, konstant. Dies gilt auch bei fehlenden Pufferverstärkern  $V_{1k}$ ,  $V_{2k}$ . Dies führt in vorteilhafter Weise dazu, daß die Ausgangssignale der verschiedenen  
25 EXOR-Gatter  $EX_j$  mit wenigstens näherungsweise demselben Proportionalitätsfaktor proportional zum der jeweiligen Verzögerung entsprechenden Wert der Autokorrelationsfunktion entsprechen.

30

Im Ausführungsbeispiel der Figur 1 seien die Signallaufzeit zwischen den Ausgängen des elektrischen Leistungsteilers LTE und den Anzapfungen  $A_{11}$  bzw.  $A_{21}$  identisch. Auf diese Weise ergibt sich am Ausgang des Tiefpaßfilters  $LP_1$  der Wert  $AKF_1$   
35 der Autokorrelationsfunktion des Basisbandsignals BB bei Verzögerung Null. Zwischen benachbarten Anzapfungspunkten  $A_{1k}$  und  $A_{1(k+1)}$  ( $k = 1 \dots n-1$ ) seien die Signallaufzeiten iden-



tisch und besitzen den Wert  $DT_1$ . Zwischen jeweils benachbarten Anzapfungspunkten  $A_2(k+1)$  und  $A_2k$  ( $k = 1 \dots n-1$ ) seien die Signallaufzeiten identisch und besitzen den Wert  $DT_2$ . Da die Laufzeitleitungen  $LZ_1, LZ_2$  im Bereich der EXOR-Gatter in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen werden, ergibt sich an den Ausgängen der übrigen Tiefpaßfilter  $LP_2 \dots LP_n$  jeweils der Wert  $AKF_2, AKF_3, \dots AKF_n$  der Autokorrelationsfunktion des Basisbandsignals  $BB$  bei Verzögerungen  $DT, 2*DT, \dots, (n-1)*DT$ , wobei gilt  $DT = DT_1 + DT_2$ . Zur Minimierung der Chipfläche ist es vorteilhaft,  $DT_1 = DT_2$  zu wählen. Es ist weiterhin günstig,  $DT$  gleich einer oder kürzer als eine Symboldauer  $T$  des Basisbandsignals  $BB$  zu wählen. Im Fall der meist verwendeten Binärsignale ist eine Symboldauer  $T$  gleich einer Bitdauer. Da die Autokorrelationsfunktion eines reellen Signals gerade Symmetrie besitzt, kann auf die Messung von Werten der Autokorrelationsfunktion mit entgegengesetzten Verzögerungen verzichtet werden. Die maximale Verzögerung  $(n-1)*DT$  sollte nach Möglichkeit wenigstens ebenso groß wie die Summe von einer durch PMD verursachten differentiellen Gruppenlaufzeit der optischen Übertragungstrecke und der vom PMD-Kompensator PMDC erzeugten differentiellen Gruppenlaufzeit sein.

Die Ausgänge der Tiefpaßfilter  $LP_j$  sind einem Regler  $R$  zugeführt. Hier liegt also eine durch Werte  $AKF_1 \dots AKF_n$  abgetastete Autokorrelationsfunktion  $AKF$  vor. Wenn PMD vorliegt und nicht entzerrt ist, ist der Wert  $AKF_1$  oft geringer als der maximal mögliche Wert und die Werte  $AKF_2 \dots AKF_n$  sind auch dann, wenn sie Verzögerungen  $DT \dots (n-1)*DT$  größer als einer Symboldauer  $T$  des Basisbandsignals entsprechen, von Null verschieden. Eine solche, schlechte Autokorrelationsfunktion  $AKFBAD$  zeigt **Figur 2**. Gezeigt ist nur eine Hälfte der Autokorrelationsfunktion, da diese ja symmetrisch ist, so daß sich Messung der anderen Hälfte erübrigt.

Der Regler  $R$  regelt die Steuersignale  $SPMDC$  des PMD-Kompensators  $PMDC$  so ein, daß die Autokorrelationsfunktion

wenigstens näherungsweise gleich der Autokorrelationsfunktion des unverzerrten Basisbandsignals ist. Im Fall von NRZ-Signalen ist dies ein um Verzögerung Null zentrierter Dreiecksimpuls, der bei einer Verzögerung von einer Bitdauer T den Wert Null erreicht und für größere Verzögerungen dort verbleibt. Auch eine solche gute Autokorrelationsfunktion AKFGOOD zeigt Figur 2. In diesem Fall ist der Wert AKF1 maximal und die Werte AKF2 ... AKFn sind dann, wenn die Verzögerungen  $DT$  ...  $(n-1)*DT$  mindestens so groß sind wie eine Symboldauer  $T$  des Basisbandsignals, wenigstens näherungsweise gleich Null. In Figur 2 gilt dies für die Werte  $2*DT$  ...  $(n-1)*DT$ . In diesem Fall wird PMD ideal entzerrt. Am optischen Ausgang OUT erscheint deshalb ein ideal entzerartes optisches Signal.

Der optische Leistungsteiler LT kann auch entfallen, so daß der PMD-Kompensator PMDC ausgangsseitig direkt mit der Photodiode PD verbunden ist. In diesem Fall soll der elektrische Leistungsteiler LTE, wie in Figur 1 gezeigt, einen weiteren elektrischen Ausgang LTEOR aufweisen. An diesem elektrischen Ausgang LTEOR wird ein elektrischer Datenregenerator (sogeannter 3R-Regenerator) REG angeschlossen. An seinem Ausgang OD steht ein regeneriertes Datensignal zur Verfügung, welches wenigstens näherungsweise keine Bitfehler durch PMD aufweist.

Figur 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Einrichtung zur PMD-Detektion. Gezeigt ist hier lediglich die Autokorrelationseinheit AKE der Figur 1 und ein Leistungsteiler LTE. In Figur 3 sind die Signalflußrichtungen der Laufzeitleitungen LZ1, LZ2 entlang der EXOR-Gatter nicht wie in Figur 1 entgegengesetzt, sondern gleichgerichtet. Dies ist auch aus der entgegengesetzten Platzierung des Abschlußwiderstands R2 und der entgegengesetzten Ausrichtung der Pufferverstärker V2j ersichtlich. Wie in Figur 1 sind Pufferverstärker nicht unbedingt notwendig bzw. können z.B. nur an manchen Stellen vorgesehen werden.

Zeitverzögerung  $DT_1$  seien in Figur 3 ebenso wie in Figur 1 definiert. Zwischen jeweils benachbarten Anzapfungspunkten  $A_{2k}$  und  $A_{2(k+1)}$  ( $k = 1 \dots n-1$ ) der Figur 3 seien die Signallaufzeiten identisch und besitzen den Wert  $DT_3$ . Die Laufzeitdifferenzen zwischen den Eingängen aufeinanderfolgender Korrelatoren sind daher  $0, DT, 2*DT \dots (n-1)*DT$ , wobei  $DT$  hier den Wert  $DT = DT_1 - DT_3$  besitzt. Um unterschiedliche  $DT_1, DT_3$  zu erzielen, sind Umwegleitungen  $Um$  ( $m = 2 \dots n$ ) vorgesehen.

- 10 Statt angezapfter Laufzeitleitungen  $LZ_1, LZ_2$  können auch mehrere unterschiedlich lange Laufzeitleitungen  $LZ_{1j}, LZ_{2j}$  ( $j = 1 \dots n$ ) verwendet werden. Dazu muß der Leistungsteiler  $LTE$  entsprechend viele Ausgänge aufweisen. Ein geeignetes Ausführungsbeispiel mit  $n=4$  ist in Figur 4 skizziert. Die Laufzeitleitungen  $LZ_{1j}, LZ_{2j}$  enden in denjenigen Punkten  $A_{1j}, A_{2j}$ ,  
15 welche mit den EXOR-Gatter-Eingängen verbunden sind und in Figuren 1 und 2 die Anzapfungspunkte waren. Die Laufzeitdifferenzen zwischen den Punktpaaren  $(A_{11}, A_{21}), (A_{12}, A_{22}), (A_{13}, A_{23}), (A_{14}, A_{24})$  sind  $0, DT, 2*DT$  bzw.  $3*DT$  mit  $DT =$   
20  $DT_1 + DT_2$ .

- In Figur 5 ist ein Teil eines Ausführungsbeispiel mit nur einer Laufzeitleitung  $LZ_1$  gezeichnet. Die Punkte  $A_{1j}$ , welche mit jeweils einem EXOR-Gatter-Eingang verbunden sind, sind  
25 entlang der Laufzeitleitung  $LZ_1$  aufgereiht. Die Punkte  $A_{2j}$ , welche mit jeweils dem anderen EXOR-Gatter-Eingang verbunden sind, fallen alle zusammen und sind mit dem Punkt  $A_{11}$  identisch. Auf diese Weise werden Laufzeitdifferenzen  $0, DT, 2*DT \dots (n-1)*DT$  zwischen den EXOR-Gatter-Eingängen erzielt.

- 30 Um eine optimal niedrige Bitfehlerquote zu erreichen, ist es zweckmäßig, ein Maß dieser Bitfehlerquote dem Regler  $R$  zugänglich zu machen. Dies ist auf einfache Weise möglich, wenn ein elektrischer Regenerator  $REG$  vorgesehen ist. Auch in Fäl-  
35 len, in denen Leistungsteiler  $LT$  und optischer Ausgang  $OUT$  des entzerrten optischen Signals vorhanden sind, kann es deshalb zweckmäßig sein, Regenerator  $REG$  vorzusehen. In Figur 6

ist der Regenerators REG gezeichnet. Eine Taktrückgewinnung ist i.a. notwendig, ist hier aus Gründen der Übersichtlichkeit aber nicht eingezeichnet. Das regenerierte Datensignal DS erscheint am Ausgang OD, der auch Ausgang eines D-Flip-Flop DFF ist, welchem das Basisbandsignal BB eingangsseitig  
5 zugeführt wird. Einem zweiten Entscheider (D-Flip-Flop) DFF2 wird das Basisbandsignal ebenfalls zugeführt.

In diesem Ausführungsbeispiel ist die Schwelle des Entscheiders über eine Einstelleinrichtung EG so weit verstellbar,  
10 daß dieser bereits ein fehlerbehaftetes Datenhilfssignal DH liefert, wenn der erste Entscheider DFF noch ein im wesentlichen fehlerfreies Datensignal DS abgibt. Die Ausgangssignale werden in einem Exklusiv-Oder-Gatter EXOR miteinander verglichen, und das so gewonnene Fehlersignal FS wird ebenfalls dem  
15 Regler R zur Steuerung des PMD-Kompensators PMDC zugeführt.

Durch Verschiebung der Schwelle des zweiten Entscheiders mit einer Einstelleinrichtung EG, welche über ein Steuersignal ST2 vom Regler R gesteuert wird, wird ständig ein Maß dafür entwickelt, wie gut die Signalqualität im Hinblick auf eine  
20 erreichbare Bitfehlerquote ist. Je geringer die Fehlerrate des Datenhilfssignals bei einer Verschiebung der Schwelle aus dem Optimum ist, desto besser ist die Signalqualität. Im Groben werden ein Maximalwert der Autokorrelationsfunktion AKF1 bei Verzögerung Null und Nullwerte der Autokorrelationsfunktion für Verzögerungen, welche größer als eine Symboldauer T  
25 sind, auch minimale Bitfehlerquote ergeben. Eine genauere Bewertung, die zu einer niedrigeren Bitfehlerrate des Entscheiders DFF führt, ergibt sich hingegen bei Verwendung des Fehlersignals FS. Da Abweichungen des Datenhilfssignals DH vom  
30 Datensignal DS aber stochastisch auftreten, ist eine relativ lange Meß- oder Mittelungszeit des Fehlersignals FS erforderlich, um einen besonders gutes Signal-Rausch-Verhältnis und damit eine optimale Kompensation zu gewinnen. Die mit Hilfe des zweiten Entscheiders gewonnene zusätzliche Information  
35 wird dazu eingesetzt, den Regelalgorithmus des Reglers R, welcher die Einstellung des PMD-Kompensators PMDC mit Hilfe der Autokorrelationsfunktionsmeßwerte AKF1, AKF2, ... AKFn

vornimmt, adaptiv zu modifizieren. Beispielsweise könnte ein leicht negativer Wert AKF3 günstiger sein als der Wert Null. Diese adaptive Betriebsform erscheint besonders günstig, um Exemplarstreuungen, Temperaturschwankungen, Auftreten nicht linearer Effekte usw. tolerierbar zu machen. Der große Vorteil dieser Ausführungsformen besteht darin, daß durch die gemessenen Werte der Autokorrelationsfunktion bereits eine rasche PMD-Kompensation möglich ist und für die Feineinstellung und die Einstellung der Übertragungsfunktion des Filters ausreichend Zeit zur Verfügung steht.

Insbesondere in Fällen, in denen es auf ein schnelles Einstellen des PMD-Kompensators PMDC nicht ankommt, ist aber auch die Verwendung nur eines Fehlersignals FS möglich. Dabei können elektrischer Leistungsteiler LTE und Autokorrelationseinheit AKE und Tiefpaßfilter LPj entfallen.

## Patentansprüche

1. Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmodendispersion eines optischen Datensignals (OS) durch Auswertung eines elektrischen Basisbandsignals (BB),  
dadurch gekennzeichnet,  
daß mindestens ein Multipizierer (EXj;  $j = 1 \dots n$ ) vorgesehen ist, der durch Multiplikation eines Werts des Basisbandsignals (BB) mit einem ggf. verzögerten Wert des Basisbandsignals und anschließende Mittelung in einer Mittelungseinrichtung (LPj;  $j = 1 \dots n$ ) einen Wert (AKFj;  $j = 1 \dots n$ ) der Autokorrelationsfunktion (AKF) des Basisbandsignals (BB) berechnet.
2. Einrichtung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß eine Laufzeitleitung (LZ1, LZ2) mit Anzapfungen (A1j, A2j;  $j = 1 \dots n$ ) vorgesehen ist, daß Anzapfungen (A1j bzw. A2j) mit verschiedenen Verzögerungen (0, DT, 2\*DT, ... (n-1)\*DT) jeweils mit den Eingängen eines Multipizierers (EXj) verbunden sind.
3. Einrichtung nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zwei Laufzeitleitungen (LZ1, LZ2) vorgesehen sind, die in dem Bereich, in dem sie über die Eingänge von Multipizierern (EXj) eine gegenseitige Zuordnung aufweisen, von diesem Basisbandsignal (BB) in entgegengesetzten Richtungen durchlaufen werden, so daß sich die zwischen benachbarten Multipizierern (EXk und EX(k+1);  $k = 1 \dots n-1$ ) auftretenden Verzögerungen (DT1, DT2) zu einer Verzögerungsdifferenz ( $DT = DT1 + DT2$ ) zwischen diesen Multipizierern addieren.
4. Einrichtung nach Anspruch 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß zwei Laufzeitleitungen (LZ1, LZ2) vorgesehen sind, die in dem Bereich, in dem sie über die Eingänge von Multiplizierern

(EX<sub>j</sub>) eine Zuordnung aufweisen, in gleicher Richtung durchlaufen werden, so daß sich die zwischen benachbarten Multiplizierern (EX<sub>k</sub> und EX<sub>(k+1)</sub>;  $k = 1 \dots n-1$ ) auftretenden Verzögerungen (DT<sub>1</sub>, DT<sub>3</sub>) sich zu einer Verzögerungsdifferenz ( $DT = DT_1 - DT_3$ ) zwischen diesen Multiplizierern subtrahieren.

5 5. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere unterschiedlich lange Laufzeitleitungen (LZ<sub>1j</sub>, LZ<sub>2j</sub>;  $j = 1 \dots n$ ) vorgesehen sind, an deren Enden (A<sub>1j</sub>, A<sub>2j</sub>;  $j = 1 \dots n$ ) die Eingänge von Multiplizierern (EX<sub>j</sub>) angeschlossen sind.

15 6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Umwegleitung (U<sub>m</sub>;  $m = 2 \dots n$ ) oder ein Pufferverstärker (V<sub>1j</sub>, V<sub>2j</sub>;  $j = 1 \dots n$ ) in einer Laufzeitleitung (LZ<sub>1</sub>, LZ<sub>2</sub>, LZ<sub>1j</sub>, LZ<sub>2j</sub>;  $j = 1 \dots n$ ) vorgesehen ist.

20 7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß auftretende Verzögerungen (0, DT, 2\*DT, ... (n-1)\*DT) äquidistant sind mit konstanter Verzögerungsdifferenz (DT).

25 8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine Verzögerungsdifferenz (DT) wenigstens näherungsweise gleich einer Symboldauer (T) des Basisbandsignals (BB) ist.

30 9. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Regler (R) zur Steuerung eines PMD-Kompensators (PMDC) vorgesehen ist.

10. Einrichtung nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß der Regler (R) einen nicht verzögerten Wert (AKF1) der  
5 Autokorrelationsfunktion wenigstens näherungsweise maximiert  
und um mindestens eine Symboldauer (T) verzögerte Werte  
(AKF2, AKF3 ... AKFn) der Autokorrelationsfunktion wenigstens  
näherungsweise auf den Wert Null einregelt.
- 10 11. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
daß eine Meßanordnung (EG; DFF2; EXOR) zur Messung der Bit-  
fehlerrate bei einem absichtlich verschlechterten Empfangs-  
signal oder einem geänderten Schwellwert einer zweiten Ent-  
15 scheiderstufe (DFF2) vorgesehen ist, deren Fehlersignal (FS)  
über einen Regler (R) einen PMD-Kompensator (PMDC) steuert.
12. Einrichtung nach Anspruch 11,  
dadurch gekennzeichnet,  
20 daß über den Regler (R) außerdem die anzustrebenden Werte der  
Autokorrelationsfunktion (AKFj;  $j = 1 \dots n$ ) adaptiv einge-  
stellt werden.
13. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
25 dadurch gekennzeichnet,  
daß der Multipizierer (EXj) ein EXOR-Gatter oder ein Gilbert-  
Multipizierer ist.



1/5

FIG 1

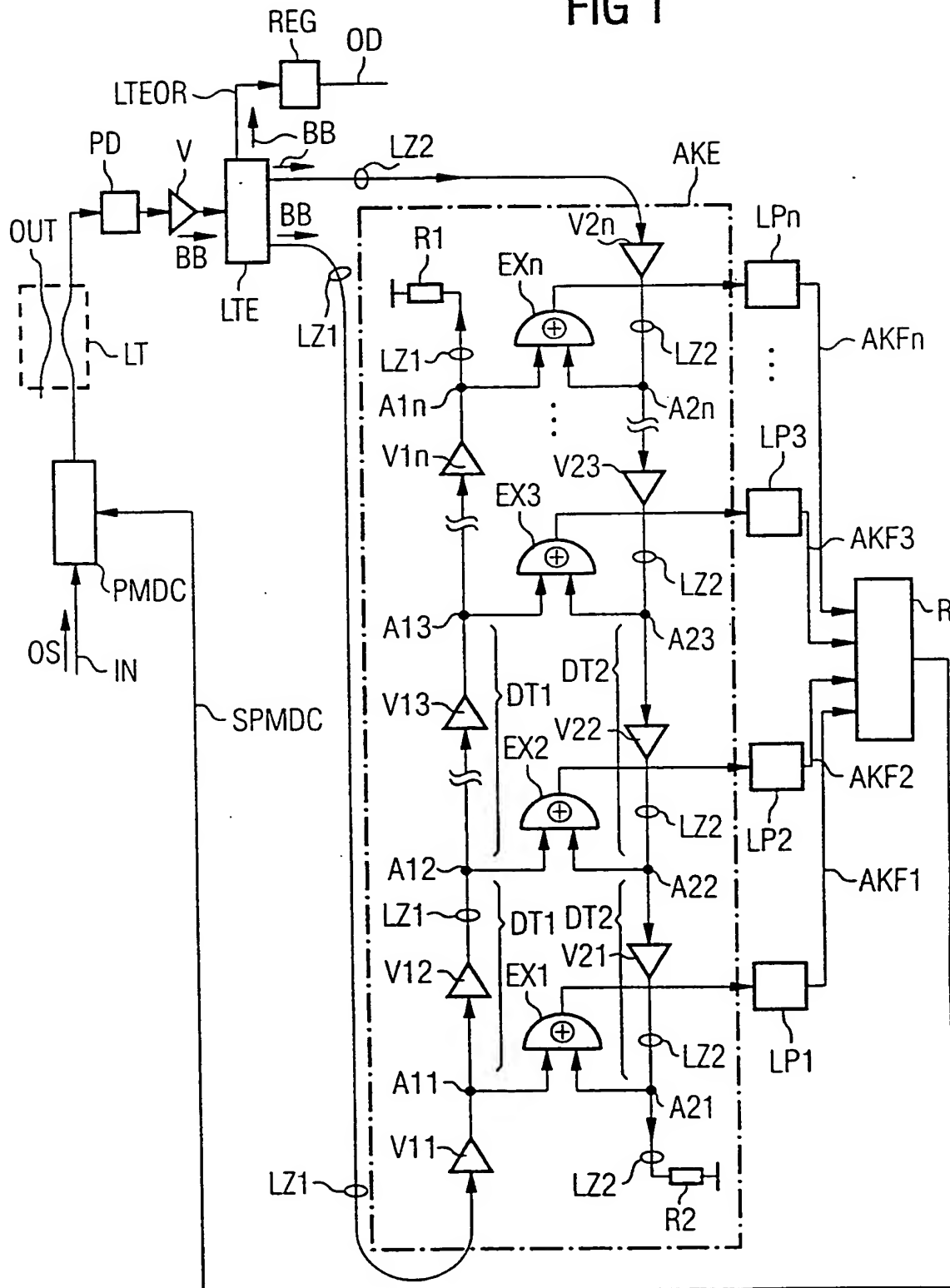
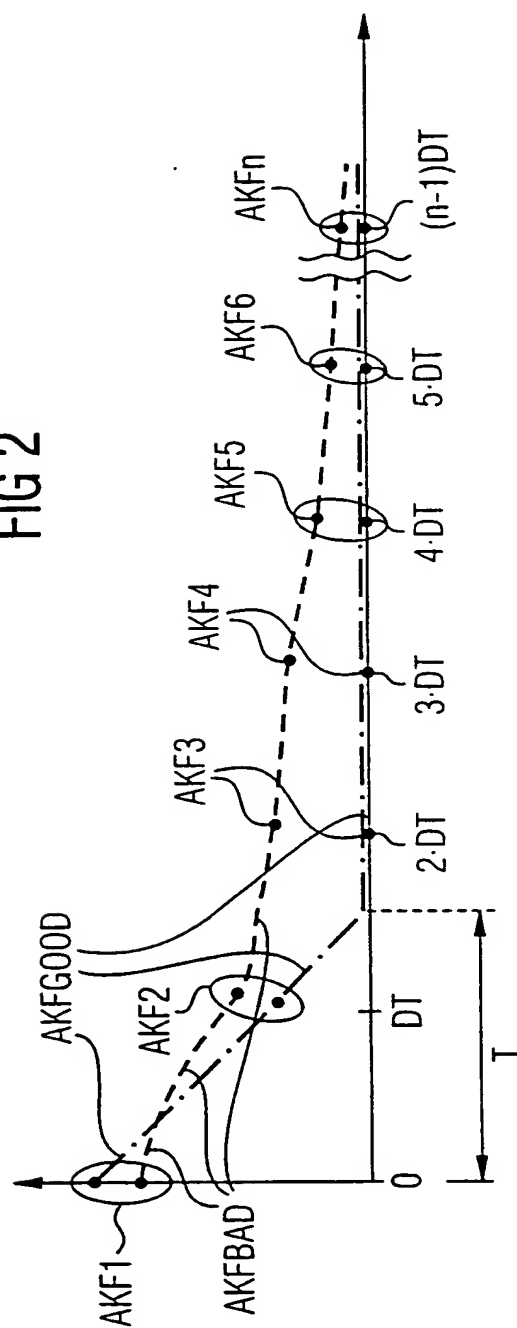




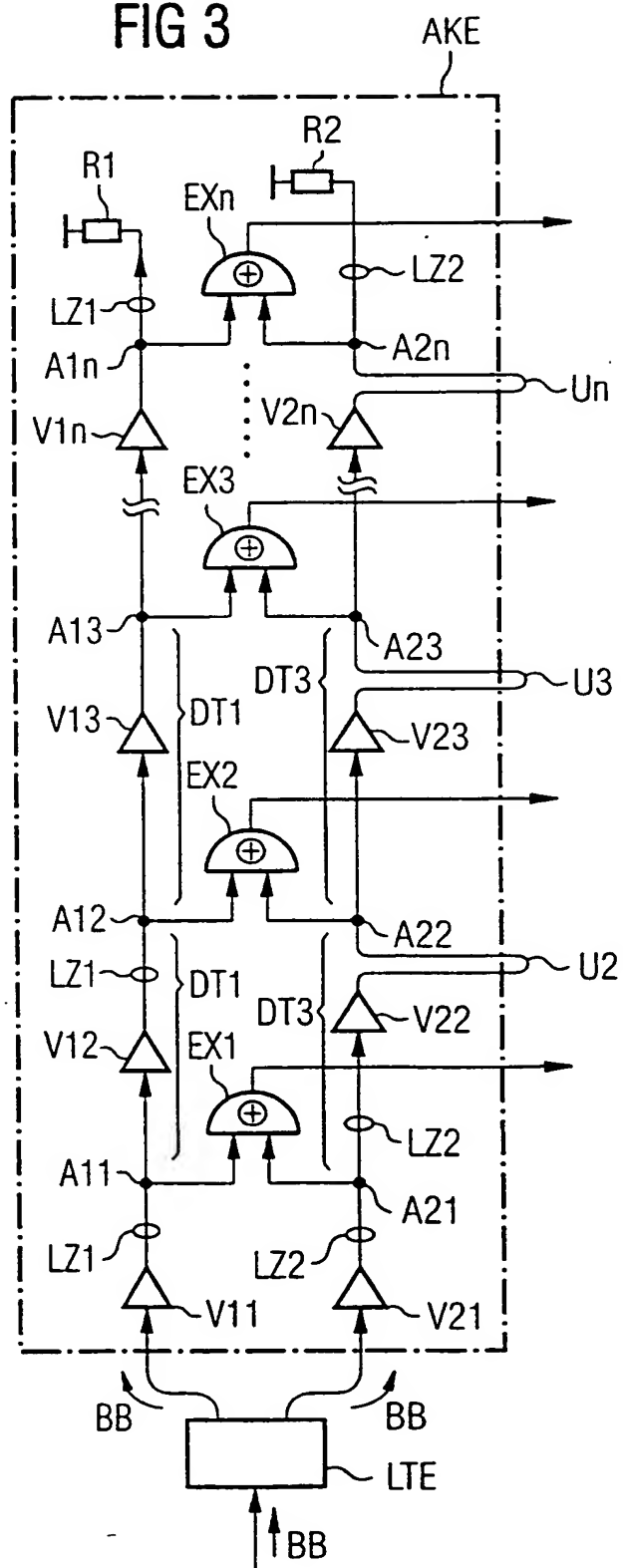
FIG 2





3/5

FIG 3





4/5

FIG 4

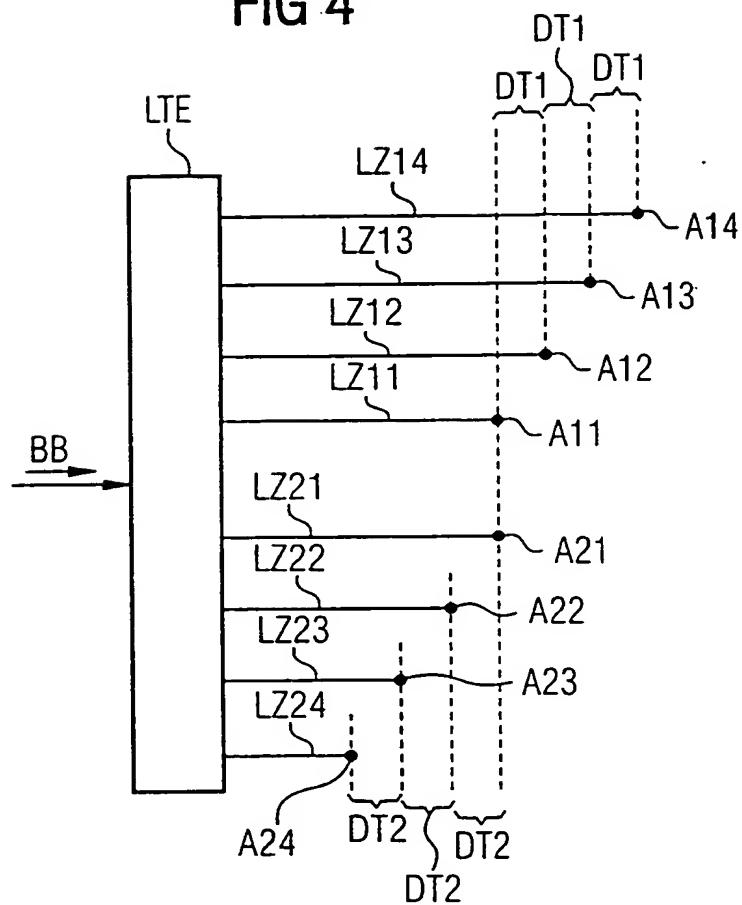
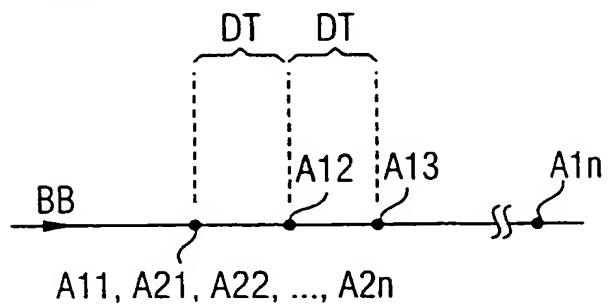


FIG 5

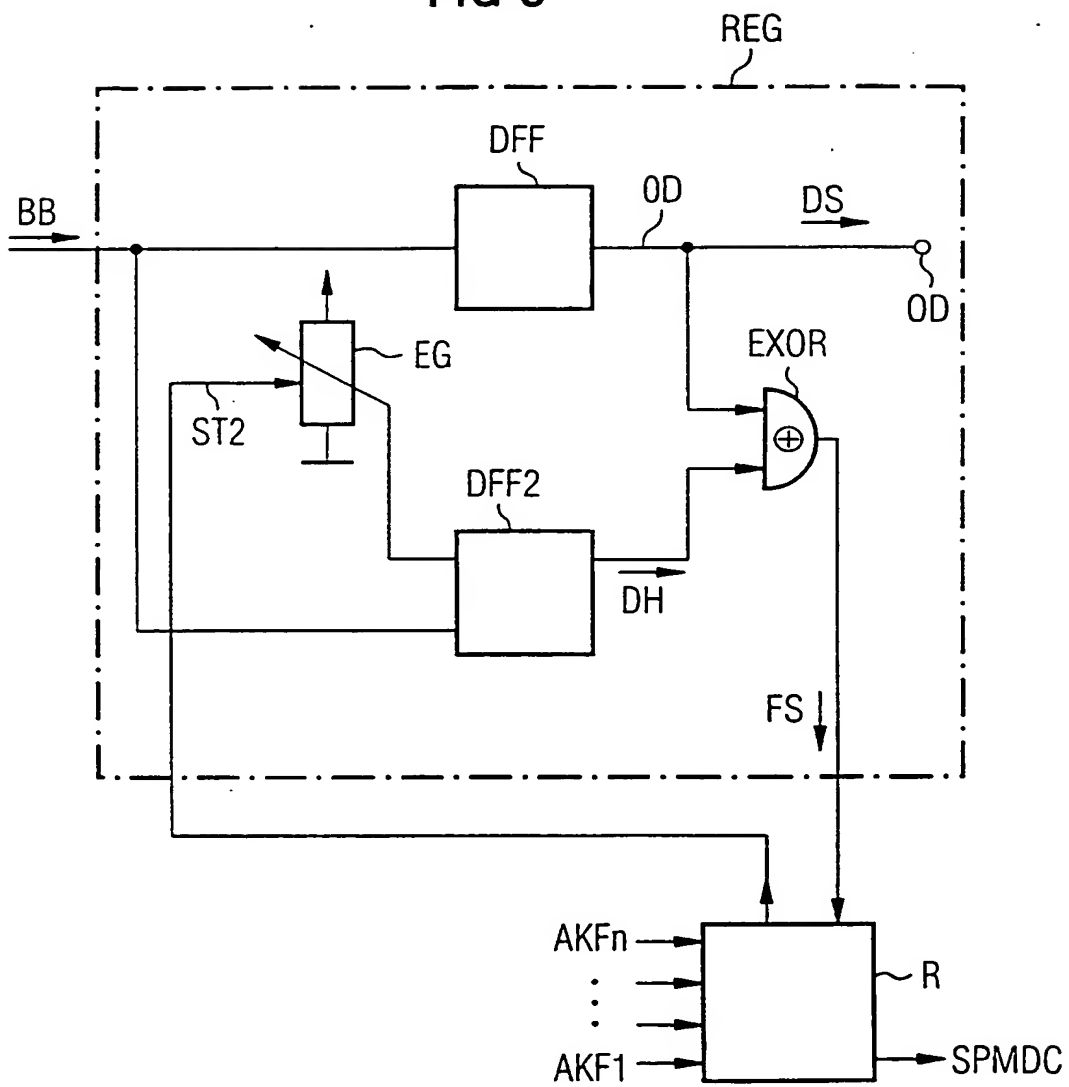






5/5

FIG 6





# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

1 1st Application No  
PCT/DE 00/01175

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H04B10/135

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04B G01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	SCHLUMP ET AL: "Electronic equalisation of PMD and chromatic dispersion induced distortion after 100 km standard fibre at 10 Gbit/s" PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON OPTICAL COMMUNICATION, 20 September 1998 (1998-09-20), XP002126317 the whole document	1-13
A	EP 0 909 045 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 14 April 1999 (1999-04-14) abstract page 7, line 6 - line 44 figures 4,8 --- -/--	1-13

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 August 2000

Date of mailing of the international search report

25/08/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ribbe, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Application No  
PCT/DE 00/01175

## C. (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 863 626 A (NORTHERN TELECOM LTD) 9 September 1998 (1998-09-09) abstract figures 1,2,4	1-16
A	DE 195 38 310 A (SEL ALCATEL AG) 17 April 1997 (1997-04-17) abstract page 4, line 8 - line 52 figure 2	1-16

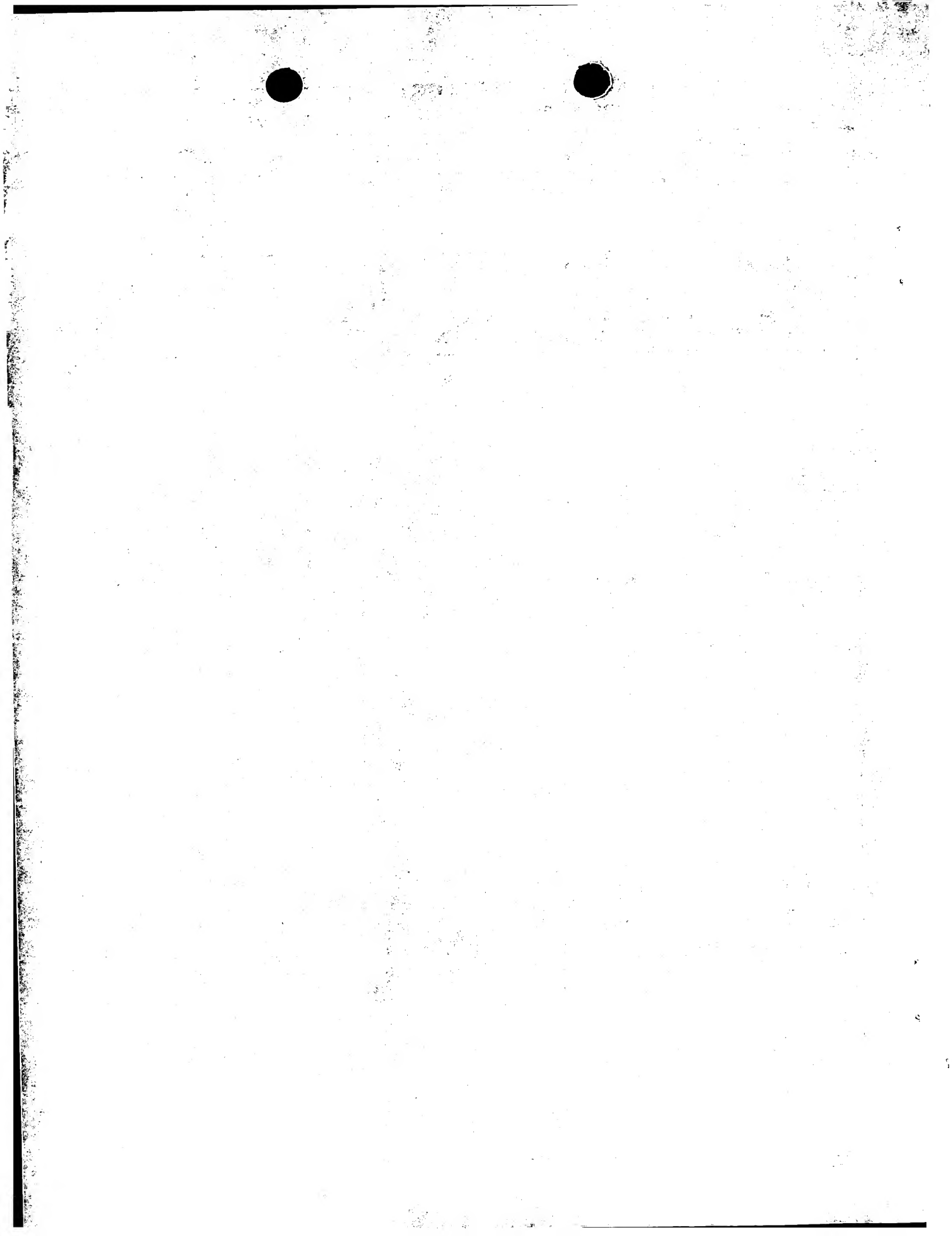
# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 00/01175

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0909045	A	14-04-1999	US 5930414 A	27-07-1999
			CN 1211744 A	24-03-1999
			JP 11196046 A	21-07-1999
			NO 984185 A	17-03-1999
EP 0863626	A	09-09-1998	US 5949560 A	07-09-1999
			CA 2228831 A	05-08-1998
			JP 10271066 A	09-10-1998
DE 19538310	A	17-04-1997	NONE	



**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
IPK 7 H04B10/135

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H04B G01M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	SCHLUMP ET AL: "Electronic equalisation of PMD and chromatic dispersion induced distorsion after 100 km standard fibre at 10 Gbit/s" PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN CONFERENCE ON OPTICAL COMMUNICATION, 20. September 1998 (1998-09-20), XP002126317 das ganze Dokument	1-13
A	EP 0 909 045 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 14. April 1999 (1999-04-14) Zusammenfassung Seite 7, Zeile 6 - Zeile 44 Abbildungen 4,8	1-13

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"g" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

18. August 2000

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

25/08/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ribbe, A

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 863 626 A (NORTHERN TELECOM LTD) 9. September 1998 (1998-09-09) Zusammenfassung Abbildungen 1,2,4 ----	1-16
A	DE 195 38 310 A (SEL ALCATEL AG) 17. April 1997 (1997-04-17) Zusammenfassung Seite 4, Zeile 8 - Zeile 52 Abbildung 2 -----	1-16



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Patentzeichen

PCT/DE 00/01175

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0909045 A	14-04-1999	US 5930414 A	27-07-1999
		CN 1211744 A	24-03-1999
		JP 11196046 A	21-07-1999
		NO 984185 A	17-03-1999
EP 0863626 A	09-09-1998	US 5949560 A	07-09-1999
		CA 2228831 A	05-08-1998
		JP 10271066 A	09-10-1998
DE 19538310 A	17-04-1997	KEINE	

